

• 胸部影像学 •

能谱 CT 定量分析煤工尘肺纤维化中 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 含量

谢武桃, 金盛辉, 刘聪, 毕朝虎, 王威, 冉超, 惠俊兰, 王小玲

【摘要】 目的:应用能谱 CT 定量分析煤工尘肺患者肺纤维化中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2/\text{羟脯氨酸 (HYP)}$ 、 $\text{SiO}_2/\text{羟赖氨酸 (HYL)}$ 含量。**方法:**搜集已确诊的Ⅲ期煤工尘肺患者 30 例(尘肺组),选取 X 线胸片未见明显异常的健康体检人员 30 例(对照组)。30 例尘肺组患者及 30 例健康受试者均应用 GE 128 排 Revolution 能谱 CT 行胸部 CT 扫描,扫描范围为双肺尖至肺底,肺容积为 4000~6000 cc,应用 GSI 模式扫描采集数据并进行能谱分析,基于 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 基物质配对,测量感兴趣区(ROI)胶原蛋白中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量,提取全肺容积中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量。**结果:**①尘肺组提取的 ROI 肺组织内 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 基物质含量为 $(78.95 \pm 20.94) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(17.20 \pm 6.73) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$);尘肺组 SiO_2/HYP 基物质含量为 $(161.84 \pm 17.51) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(30.13 \pm 8.95) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$);尘肺组 SiO_2/HYL 基物质含量为 $(173.06 \pm 17.23) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(29.99 \pm 9.78) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$)。②尘肺组提取的全肺组织内 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 基物质含量为 $(12.23 \pm 1.56) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(4.94 \pm 0.76) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$);尘肺组 SiO_2/HYP 基物质含量为 $(107.16 \pm 12.58) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(89.39 \pm 4.85) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$);尘肺组 SiO_2/HYL 基物质含量为 $(116.75 \pm 10.63) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(97.87 \pm 6.24) \text{ mg/cm}^3$,两组差异有统计学意义($P=0.000$)。**结论:**应用 GE 128 排 Revolution 能谱 CT 可以定量分析煤工尘肺患者肺纤维化中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量,为临床上判断煤工尘肺患者肺纤维化的进程及干预肺纤维化的治疗提供科学客观的影像学依据。

【关键词】 能谱 CT; 体层摄影术, X 线计算机; 尘肺; 肺纤维化; $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$; SiO_2/HYP ; SiO_2/HYL

【中图分类号】 R135.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)09-1114-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.09.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Quantitative analysis of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, SiO_2/HYP and SiO_2/HYL contents in coal workers' pneumoconiosis fibrosis by energy spectrum CT XIE Wu-tao, JIN Sheng-hui, LIU Cong, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical and Pharmaceutical College (Chongqing Occupational Disease Prevention and Treatment Institute), Chongqing 400060, China

【Abstract】 Objective: The contents of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2/\text{hydroxyproline (HYP)}$, and $\text{SiO}_2/\text{hydroxylysine (HYL)}$ in pulmonary fibrosis patients with coal workers' pneumoconiosis were quantitatively analyzed by GE128 Revolution spectrum CT. **Methods:** Thirty patients diagnosed with stage Ⅲ coal workers' pneumoconiosis (coal workers' pneumoconiosis group) were scanned with GE128 Revolution energy spectrum CT, and 30 healthy people with no history of dust exposure and no obvious abnormality on chest X-ray were used as a control group. The scanning range was from the tip to the bottom of the lungs, and the lung volume was 4000~6000cc. GSI mode was used to scan and collect data, and ADW4.7 workstation GSI Viewer was used for energy spectrum analysis. The contents of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, SiO_2/HYP , and SiO_2/HYL in the region of interest (ROI) collagen were measured based on $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, SiO_2/HYP , and SiO_2/HYL base material pairing, and the average value was taken, the con-

作者单位: 400060 重庆, 重庆医药高等专科学校附属第一医院(重庆市职业病防治院)放射科

作者简介: 谢武桃(1973-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 副主任医师, 主要从事职业性尘肺与中毒等呼吸系统疾病影像诊断工作。

基金项目: 重庆医药高等专科学校附属第一医院科研孵化基金项目(2018YB05)、(2019MS04); 重庆市南岸区科卫联合医学科研项目(2020-13); 职业病防治与中毒救治重庆市重点实验室开放课题资助项目(2021ZYBK01)

tents of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, SiO_2/HYP and SiO_2/HYL in whole lung volume were extracted. **Results:** ① Coal workers' pneumoconiosis group of extracting ROI mean $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ base material content in lung tissue was $(78.95 \pm 20.94) \text{ mg/cm}^3$, control group averages $(17.20 \pm 6.73) \text{ mg/cm}^3$, the difference between the two groups have statistical significance ($P < 0.001$). The mean content of SiO_2/HYP base substance was $(161.84 \pm 17.51) \text{ mg/cm}^3$ in the coal workers' pneumoconiosis group, and $(30.13 \pm 8.95) \text{ mg/cm}^3$ in the control group; the difference between the two groups has statistical significance ($P < 0.001$). The mean content of SiO_2/HYL base substance was $(173.06 \pm 17.23) \text{ mg/cm}^3$ in the coal workers' pneumoconiosis group, and $(29.99 \pm 9.78) \text{ mg/cm}^3$ in the control group; the difference between the two groups has statistical significance ($P < 0.001$). ② The mean content of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ in whole lung tissue of coal workers' pneumoconiosis group was $(12.23 \pm 1.56) \text{ mg/cm}^3$, and that of the control group was $(4.94 \pm 0.76) \text{ mg/cm}^3$; the difference between the two groups have statistical significance ($P < 0.001$). The mean content of SiO_2/HYP base substance in coal workers' pneumoconiosis group was $(107.16 \pm 12.58) \text{ mg/cm}^3$, and that in the control group was $(89.39 \pm 4.85) \text{ mg/cm}^3$; the difference between the two groups has statistical significance ($P < 0.001$). The mean content of SiO_2/HYL base substance was $(116.75 \pm 10.63) \text{ mg/cm}^3$ in the coal workers' pneumoconiosis group, and $(97.87 \pm 6.24) \text{ mg/cm}^3$ in the control group; the difference between the two groups has statistical significance ($P < 0.001$). **Conclusion:** The content of $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$, SiO_2/HYP , and SiO_2/HYL in coal workers' pneumoconiosis can be quantitatively analyzed by GE128 Revolution spectrum CT, providing scientific and objective imaging evidence for clinically judging the process of pulmonary fibrosis in patients with coal workers' pneumoconiosis and intervening treatment in pulmonary fibrosis.

【Key words】 Energy spectral CT; Tomography, X-ray computed; Pneumoconiosis; Pulmonary fibrosis; $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$; SiO_2/HYP ; SiO_2/HYL

尘肺病是由于在职业活动中长期吸入生产性粉尘并在肺内滞留而引起的以肺组织弥漫性纤维化为主的全身性疾病。我国是全球尘肺病患者数量最多的国家,也是年报告新发病例最多的国家^[1]。尘肺病中主要是矽肺和煤工尘肺。煤工尘肺是一种对工人身体健康危害极大,严重降低劳动能力、致残,并且极大增加患者疾病负担的职业病^[2]。煤工尘肺是由于吸入可吸入的结晶二氧化硅(SiO_2)引起的,会引起持续的炎症和不可逆的纤维化。二氧化硅颗粒对肺部组织产生损伤,进而激活免疫系统。大量的炎症细胞聚集于肺部,并在二氧化硅刺激下产生各种趋化因子、细胞因子和生长因子,这些因子相互作用,可以刺激成纤维细胞的增殖与分化,促使其产生大量的胶原蛋白^[3]。羟脯氨酸(Hydroxyproline, HYP)是一种非必需氨基酸,主要存在于动物的胶原蛋白中,加强结缔组织的弹性和韧性。通过对组织中羟脯氨酸含量的测定,可以了解机体胶原蛋白分解代谢情况。胶原蛋白的不断积累是纤维化进程的主要病理表现。因此,准确测定肺组织中羟脯氨酸的含量,可以直接有效地判断肺纤维化的发展程度^[4-5]。羟赖氨酸(Hydroxylysine, HYL)是胶原降解的另一种产物,可了解体内胶原蛋白分解代谢情况,即可作为了解结缔组织分解情况的指标之一^[6]。本研究通过 GE128 排 Revolution 能谱 CT 对已确诊

的Ⅲ期煤工尘肺患者肺纤维化和无粉尘接触史健康人员正常肺组织内的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 含量进行定量分析,旨在为临床上判断煤工尘肺患者肺纤维化的进程以及干预肺纤维化的治疗提供科学客观的影像学依据。

材料与方法

1. 病例资料

搜集我院 2020 年 6 月—2021 年 12 月经职业病鉴定专家组确诊为Ⅲ期煤工尘肺的患者 30 例(尘肺组);另选择健康体检人员 30 例作为对照组,无粉尘接触史,X 线胸片未见明显异常。所有研究对象均为男性,均无其他肺部及支气管相关疾病,均行 GE 128 排 Revolution 能谱 CT 胸部扫描,检查前均已签署知情同意书。本研究经本院医学伦理委员会批准。

尘肺组病例纳入标准:①经职业病鉴定专家组确诊为Ⅲ期煤工尘肺,诊断标准参考《GBZ 70-2015 职业性尘肺病的诊断》^[7],有明确的粉尘接触史,大阴影其长径不小于 20 mm,短径大于 10 mm;②所有病例均行能谱 CT 检查、0.625mm 薄层重建及 DATA 数据重建。对照组病例纳入标准:①健康体检人员,无粉尘接触史,X 线胸片未见明显异常;②所有病例均行能谱 CT 检查、0.625mm 薄层重建及 DATA 数据重建。

2. 检查方法

尘肺组 30 例及对照组 30 例患者均采用美国 GE128 排 256 层 Revolution Es 型能谱 CT 行胸部扫描,扫描参数: GSI 模式,螺旋扫描,管电压 80~140 kV,电流 GSI 手动模式 200~450 mA,层厚 0.625 mm,螺距 0.992:1,视野 35 cm×35 cm~45 cm×45 cm,噪声指数 9,转速 0.5 s/r,矩阵 512×512,探测器覆盖宽度 80 mm。肺窗采用高分辨率算法,纵隔窗采用标准算法。扫描范围为双肺尖至肺底,肺容积为 4000~6000 cc。扫描流程:核对尘肺患者身份证-患者准备-仰卧位-深吸气并屏气-曝光-停止扫描。

3. 能谱 CT 测量 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 含量的原理及方法

在能谱 CT 原理中,X 射线通过物质的衰减能够客观反映 X 射线的能量,X 射线经过物质后产生的光电效应和康普顿效应共同决定了物质对 X 线的衰减曲线。 $U(E) = af_{pe}(E) + b_{fe}(E)$,其中 $f_{pe}(E)$ 和 $f_{fe}(E)$ 分别为质量吸收函数中光电效应和康普顿散射的贡献; a 和 b 为常量。经过数学转化可以得到 $\mu(E) = c_1\mu_1(E) + c_2\mu_2(E)$,其中 $\mu_1(E)$ 和 $\mu_2(E)$ 分别为两个物质的质量吸收函数, c_1 和 c_2 为常数。因此任何物质的 X 线吸收系数可以由 2 个基物质的 X 线吸收系数来决定^[8]。能谱 CT 成像突破常规 CT 单参数成像的局限,不仅可观察常规混合能量图像,而且能获得 40~140 keV 不同水平单能量图像、不同基物质图像(碘/水、碘/钙等)^[9]。通过 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 进行配对,能够获得对应于 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 密度的两组物质密度投影,通过对这两组的数据重建,就能求解出 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 的密度在空间的分布,从而计算出所感兴趣基物质对密度质和质量吸收函数,以及他们之间的相互关系。通过能谱 CT 成像的重建/后处理引擎及观察与分析系统(GSI Viewer;GSI 浏览器)的多参数成像,能够对 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 作为基物质对进行对比分析。

4. 图像数据处理

所有扫描的 DATA 数据通过 ADW4.7 GSI viewer 后处理器进行能谱分析:选取尘肺纤维化斑块-观察窗改成 GSI 基物质配对($\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL)-选择 histogram 显示-获取数据。尘肺组数据测量:选取Ⅲ期尘肺中双中上肺野最大纤维化斑块,以冠状面最大层面为中心(前后层厚平均距离)分别进行数据测量,病灶大小为 2.1 cm×4.2 cm~8.6 cm×4.7 cm,ROI 大小占纤维化斑块病灶的 2/3 以上,大小为 308.1~2371.9 mm²,求平均值。对照组数据测量:以Ⅲ期尘肺斑块平均大小以及平均 ROI 大

小作为参照,随机选取双中上肺野 ROI 大小进行数据测量。两组每个病例分别测量选定的病灶大小、ROI、 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 数据,总共 300 组数据。提取全肺的容积、 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 含量数据,总共 240 组数据。

所有数据均自动保存在 Excel 文件夹,由两位放射科副主任以上医师对两组基物质 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 及 SiO_2/HYL 数据采用盲法独自分析;若两者意见不一致,则两位医师共同讨论,直到意见完全达到一致为止。

5. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。采用 Excel 表格记录、整理尘肺组及对照组中 ROI 和全肺容积测量的所有数据。两组肺组织数据以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,对两组样本数据进行方差齐性检验,组间比较采取两独立样本 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组患者的基线资料

30 例尘肺组患者年龄 42~60 岁,平均(54.22±4.32)岁,接触粉尘工龄为 6~25 年,平均(15.26±6.67)年,工种为掘井工 12 人,采煤工 18 人,其中有吸烟史者 22 例(吸烟率为 73.3%)。对照组为健康体检人员,年龄 40~60 岁,平均(52.57±4.99)岁,其中有吸烟史者 19 例(吸烟率为 63.3%)。两组人群的年龄和吸烟率比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2. 两组样本方差齐性检验

对尘肺组及对照组的年龄、全肺容积(V)进行方差齐性检验,结果显示两组样本中方差齐性的显著性 Sig 值均大于 0.05(显著水平),提示两组样本中的年龄、全肺容积(V)的方差是齐性的,故 P 值采用独立样本 t 检验中假设方差相等 Sig(双侧)检验结果。对尘肺组及对照组 ROI 范围大小、ROI 范围内和全肺容积内的胶原蛋白中 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 基物质进行方差齐性检验,结果显示两组样本中方差齐性的显著性 Sig 值均小于 0.05(显著水平),故 P 值采用独立样本 t 检验中假设方差不相等 Sig(双侧)检验结果。

3. 尘肺组及对照组基物质 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 在 ROI 中的测量结果

尘肺组 ROI 中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 基物质含量为(78.95±20.94) mg/cm³,对照组为(17.20±6.73) mg/cm³,两组均值差值为(61.74±4.01) mg/cm³,差异有统计学意义($P = 0.000$)。尘肺组 SiO_2/HYP 基物质含量为(161.84±17.51) mg/cm³,对照组为(30.13±

8.95) mg/cm³, 两组均值差值为(131.71±3.59) mg/cm³, 差异有统计学意义($P=0.000$)。尘肺组 SiO₂/HYL 基物质含量为(173.06±17.23) mg/cm³, 对照组为(29.99±9.78) mg/cm³, 两组均值差为(143.07±3.61) mg/cm³, 差异有统计学意义($P=0.000$, 表 1、图 1、2)。

4. 尘肺组及对照组基物质 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP、SiO₂/HYL 在全肺容积中的测量结果

尘肺组全肺 SiO₂/H₂O 基物质含量为(12.23±1.56) mg/cm³, 对照组为(4.94±0.76) mg/cm³, 两组均值差值为(7.16±0.32) mg/cm³, 差异有统计学意义($P=0.000$)。尘肺组 SiO₂/HYP 基物质含量为

(107.16±12.58) mg/cm³, 对照组为(89.39±4.85) mg/cm³, 两组均值差值为(17.75±2.46) mg/cm³, 差异有统计学意义($P=0.000$)。尘肺组 SiO₂/HYL 基物质含量为(116.75±10.63) mg/cm³, 对照组为(97.87±6.24) mg/cm³, 两组均值差值为(18.87±2.25) mg/cm³, 差异有统计学意义($P=0.000$, 表 2、图 3、4)。

讨 论

在影像学技术上, 目前高分辨率 CT(highresolutionCT, HRCT)作为诊断肺纤维化最重要的手段, 在评估病情及判断预后方面的作用显得尤为关键, 近年来计算机辅助 CT 定量分析因其更为客观逐渐被广泛

表 1 两组 ROI 中基物质 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP、SiO₂/HYL 含量的比较

范围/指标	尘肺组	对照组	均值差	P 值
ROI(cm ²)	840.63±433.90	954.69±27.09	-114.06±79.38	0.161
SiO ₂ /H ₂ O(mg/cm ³)	78.95±20.94	17.20±6.73	61.74±4.01	0.000
SiO ₂ /HYP(mg/cm ³)	161.8±17.51	30.13±8.95	131.71±3.59	0.000
SiO ₂ /HYL(mg/cm ³)	173.0±17.23	29.99±9.78	143.07±3.61	0.000

表 2 两组 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP、SiO₂/HYL 基物质在全肺容积(V)含量的比较

容积/指标	尘肺组	对照组	均值差	P 值
V(cc)	5001.86±626.14	5291.20±604.52	-289.33±158.90	0.074
SiO ₂ /H ₂ O(mg/cm ³)	12.23±1.56	4.94±0.76	7.16±0.32	0.000
SiO ₂ /HYP(mg/cm ³)	107.16±12.58	89.39±4.85	17.75±2.46	0.000
SiO ₂ /HYL(mg/cm ³)	116.75±10.63	97.87±6.24	18.87±2.25	0.000

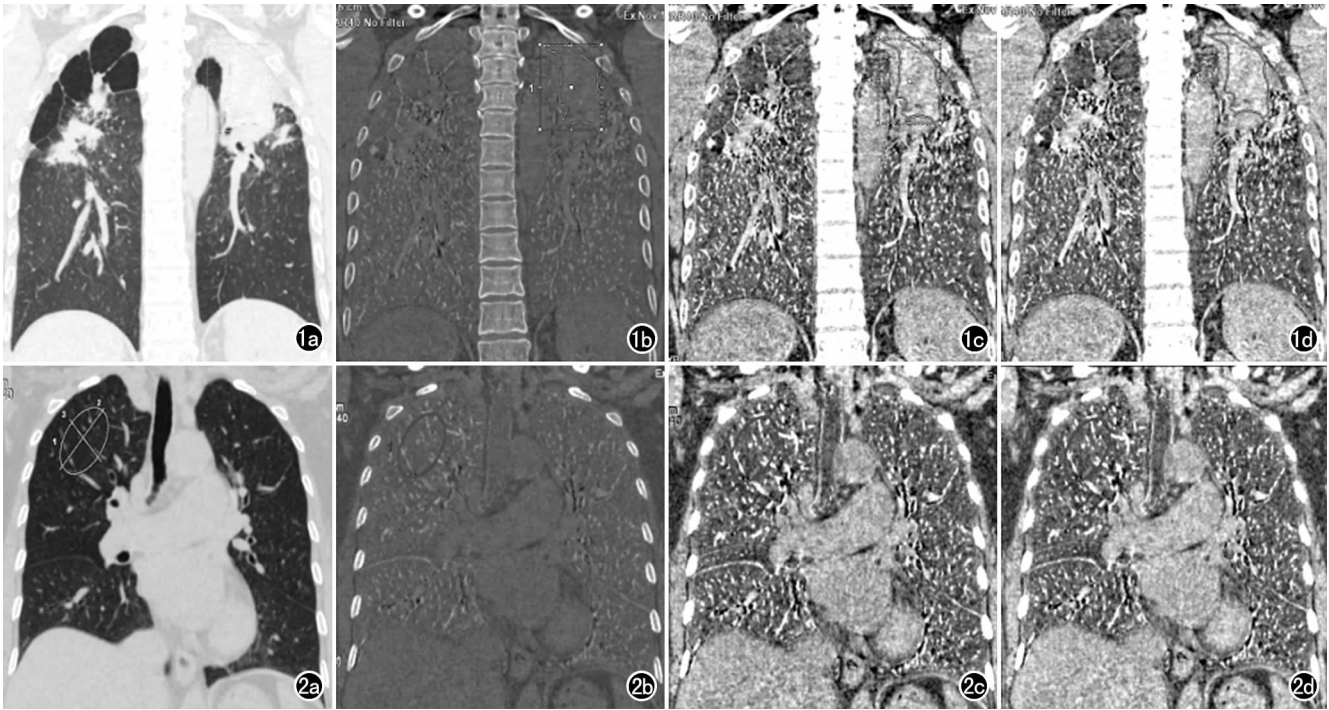


图 1 尘肺组的 ROI 及 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP、SiO₂/HYL 含量测量图。a)ROI 面积为 925.7cm²;b)SiO₂/H₂O 含量为 71.80mg/cm³;c)SiO₂/HYP 含量为 151.60mg/cm³;d)SiO₂/HYL 含量为 165.40mg/cm³。
图 2 对照组的 ROI 及 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP、SiO₂/HYL 含量测量图。a)ROI 面积为 956.8cm²;b)SiO₂/H₂O 含量为 21.10mg/cm³;c)SiO₂/HYP 含量为 32.30mg/cm³;d)SiO₂/HYL 含量为 35.60mg/cm³。

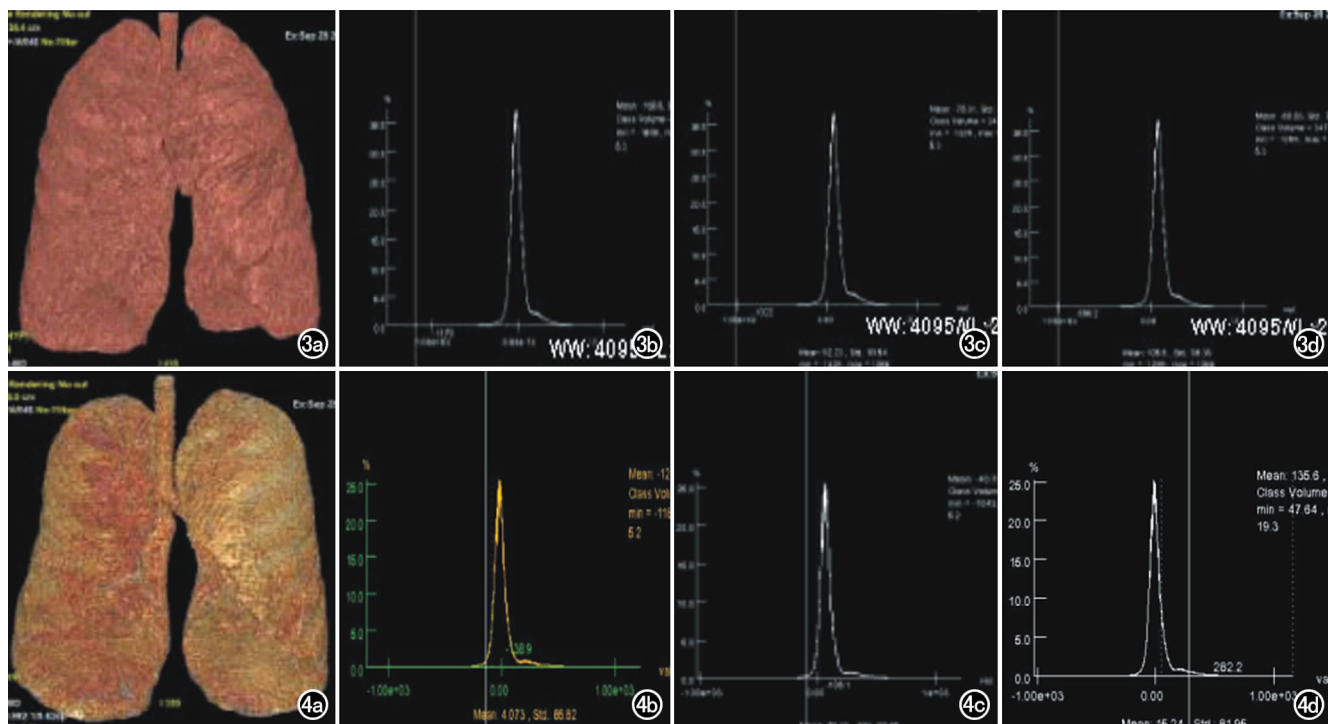


图 3 尘肺组的全肺体积及 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量测量图。a) 全肺体积为 5634cc; b) $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 含量为 11.76mg/cm³; c) SiO_2/HYP 含量为 92.23mg/cm³; d) SiO_2/HYL 含量为 105.8mg/cm³。

图 4 对照组的全肺体积及 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量测量图。a) 全肺体积为 5761cc; b) $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 含量为 4.07mg/cm³; c) SiO_2/HYP 含量为 79.13mg/cm³; d) SiO_2/HYL 含量: 96.60mg/cm³。

认可。肺纤维化 HRCT 的计算机辅助定量分析主要通过分析肺纤维化区域的 CT 图像参数如平均密度、透过度范围及纹理特点等对患者病情进行评估^[10]。而在能谱 CT 定量分析尘肺病方面, 近年来刘荣荣^[11]研究通过对 70~140 keV 单能量图、有效原子序数及基物质进行分析诊断, 结果证明三种分析工具均能够鉴别矽肺结节与对照组结节, 能够证明尘肺结节内含有 SiO_2 成分, 从而诊断矽肺。通过查阅国内外文献资料, 目前尚未发现通过能谱 CT 对尘肺病肺纤维化成分胶原蛋白中的 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量进行定量分析的相关报道。

能谱 CT 利用快速单源瞬时 kVp 切换技术在亚毫秒内完成 80~140 kVp 高低能量间的切换, 几乎是同时、同角度得到匹配的高、低能量数据。一方面在医用 X 线范围内, 不同的 X 射线物质相互作用, 主要有光电效应和康普顿效应。任何物质的吸收随 X 线能量变化而变化, 都有对应的吸收曲线, 其能量的变化具有特征性。如果以两个能级扫描, 通过其特有的衰减曲线, 成分组织就可以被确定及量化。另一方面在获得两种不同 X 射线能量下的衰减系数的两次测量后, 任何成分都可以用两种基物质的组合来表达相同的衰减效应。使用传统 CT 单一的 X 射线光谱时, 是很难区分的^[12], 而能谱 CT 的数据是由两种不同光谱获得

的, 对成分组织较敏感, 能够区分具有不同原子数的成分。能谱 CT 不仅具备常规 CT 的高空间分辨率和时间分辨率, 还增加了能量分辨率及理化性质分辨率这两项参数, 实现了多参数成像, 如单能量成像、碘基物质成像及有效原子序数测定等, 使组织 CT 值内部的差异得到充分展现, 更有利于物质成分的定量分析与鉴别。近年来, 武卫杰等^[13]报道利用能谱 CT 虚拟扫描功能, 通过多参数定量分析可提高肺部纯磨玻璃结节的诊断及鉴别诊断效能, 并能降低辐射剂量。艾娜娜等^[14]研究发现在能谱 CT 智能匹配技术下, 大螺距能谱成像较常规螺距能谱成像的辐射剂量更低; 联合 10%~60% 自适应统计迭代重建 V (Adaptive statistical iterative reconstruction V, ASIR-V) 后重建技术, 可以降低大螺距能谱单能量图像的噪声, 提高综合成像质量。

近年来, 相关文献报道通过酶联免疫吸附测定发现硅肺大鼠染尘 14 d 后肺组织 HYP 升高, 第 56 天达到高峰。因此, 测量大鼠矽肺组织中羟脯氨酸的含量可间接反映矽肺纤维化程度^[15]。同时, 肺组织中胶原蛋白分解减少, HYL 含量也会相应升高^[6]。因此, 准确测定肺组织中羟脯氨酸、羟赖氨酸的含量, 可以有效判断肺纤维化的发展程度。白宇超等^[16]研究了 26 例接尘工龄为 8~24 年[平均(13.80±4.81)年]的稀土

尘肺患者,结果发现在排除年龄、吸烟情况及组别影响因素后,HYP 的表达量与接尘工龄呈正相关($P < 0.05$),表明接尘年限越长,血清 HYP 的表达量越大,肺内胶原沉积量也增多,肺部纤维化也越严重。

本研究应用能谱 CT 对Ⅲ期煤工尘肺患者(尘肺组)及对照组的肺组织进行了 ROI 及全肺胶原蛋白中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量测量,得到以下研究结果:①尘肺组 ROI 的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 基物质含量为 $(78.95 \pm 20.94) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(17.20 \pm 6.73) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(61.74 \pm 4.01) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$);尘肺组 SiO_2/HYP 基物质含量为 $(161.84 \pm 17.51) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(30.13 \pm 8.95) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(131.71 \pm 3.59) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$);尘肺组 SiO_2/HYL 基物质含量为 $(173.06 \pm 17.23) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(29.99 \pm 9.78) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(143.07 \pm 3.61) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$)。②尘肺组提取的全肺组织内 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 基物质含量为 $(12.23 \pm 1.56) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(4.94 \pm 0.76) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(7.16 \pm 0.32) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$);尘肺组 SiO_2/HYP 基物质含量为 $(107.16 \pm 12.58) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(89.39 \pm 4.85) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(17.75 \pm 2.46) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$);尘肺组 SiO_2/HYL 基物质含量为 $(116.75 \pm 10.63) \text{ mg/cm}^3$,对照组为 $(97.87 \pm 6.24) \text{ mg/cm}^3$,两组均值差为 $(18.87 \pm 2.25) \text{ mg/cm}^3$,差异有统计学意义($P = 0.000$)。

煤工尘肺纤维化的发病机制是煤矿粉尘与机体慢性炎症反应持续相互作用的结果。炎症因子在肺纤维化的发生发展中起着关键作用,可通过靶细胞表面的相应受体启动炎症反应。在炎症反应基础上,血小板源性生长因子、转化生长因子- β 、肿瘤坏死因子 α 等多种纤维化相关因子共同调控肺成纤维细胞的分裂、增殖及胶原蛋白的合成与降解,导致肺纤维化^[17]。胶原蛋白是肺纤维化细胞外基质的主要成分,胶原蛋白的分解减少和合成增加是导致肺纤维化胶原蛋白异常沉积的重要原因^[18-19]。HYP 作为胶原的主要成分,能直观反映胶原蛋白在体内的含量。本研究通过比较煤工尘肺患者与对照组肺组织中 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量,发现煤矿粉尘所致肺纤维化的程度与肺组织中 HYP、HYL 含量具有密切相关性。这与白宇超等^[16]得出稀土尘肺组患者血清中 HYP 明显高于对照组的结论具有一致性。

综上所述,肺组织成纤维细胞胶原蛋白中 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 的含量可作为煤工尘肺所致肺纤维化的重要生物标志物。通过能谱 CT 对煤工尘肺患者

肺纤维化中的 $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 SiO_2/HYP 、 SiO_2/HYL 含量进行定量分析,可为临床上判断煤工尘肺患者肺纤维化的进程及干预肺纤维化的治疗提供科学客观的影像学依据。

参考文献:

- [1] 中国生物医学工程学会医学人工智能分会胸部影像及职业病标准组. 尘肺病数据标注规范与质量控制专家共识(2020 年版)[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(6): 523-529.
- [2] 翟鹏勇, 李海学, 赵瑞峰, 等. 煤工尘肺合并慢性阻塞性肺疾病临床特征分析[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2019, 37(12): 899-902.
- [3] 李雪. 二氧化硅胁迫下肺纤维化相关生物学响应的初步研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2020: 1-59.
- [4] 陈以文, 盛春瑞, 刘珊珊, 等. 小鼠肺组织羟脯氨酸含量测定的实验方法优化[J]. 医学研究生学报, 2020, 33(3): 301-306.
- [5] Elhameed AGA. Krill oil and low-dose aspirin combination mitigates experimentally induced silicosis in rats: role of NF- κ B/TGF- β 1/MMP-9 pathway[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2021, 28(15): 19272-19284.
- [6] Patel N, Mills P, Davison J, et al. Free urinary glycosylated hydroxylysine as an indicator of altered collagen degradation in the mucopolysaccharidoses[J]. J Inher Metab Dis, 2020, 43(2): 309-317.
- [7] GBZ 70-2015, 职业性尘肺病的诊断[S].
- [8] 高剑波. 新编胸部能谱 CT 临床影像学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2012: 10.
- [9] 王君鑫, 牛丹丹, 孙玉清, 等. 能谱 CT 定量参数对结节/肿块样肺炎与肺癌的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(7): 863-867.
- [10] 石涵宇, 魏路清. CT 定量分析在肺纤维化中的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7): 719-722.
- [11] 刘荣荣. 二氧化硅的能谱 CT 实验研究及在矽肺诊断中的初步应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2017: 1-85.
- [12] Agostini A, Borgheresi A, Mari A, et al. Dual energy CT: theoretical principles and clinical applications[J]. Radiol Med, 2019, 124(12): 1281-1295.
- [13] 武卫杰, 岳松伟, 王会霞, 等. 能谱 CT 虚拟平扫评估肺纯磨玻璃结节的可行性研究[J]. 放射学实践, 2020, 35(3): 346-351.
- [14] 艾娜娜, 宋振, 翟艳慧, 等. 大螺距联合自适应迭代重建技术对胸部能谱成像影响的体模研究[J]. 放射学实践, 2020, 35(5): 619-623.
- [15] 刘玉红, 张纾难, 袁妃妃, 等. 益气养阴、化痰活血法对肺纤维化大鼠肺组织转化生长因子- β 1 和羟脯氨酸含量的影响[J]. 内蒙古中医药, 2019, 38(2): 93-94.
- [16] 白宇超, 王素华, 黄丽华, 等. 26 例稀土尘肺患者血清 TNF- α 、IL-1 β 、MCP-1、HYP 检测结果分析[J]. 现代预防医学, 2020, 47(5): 947-950.
- [17] 张雁林, 赵建, 赵怡然, 等. 细胞外组蛋白在煤工尘肺发病中的作用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, 38(8): 566-569.
- [18] 耿德海, 郭文龙, 王强, 等. 三七总皂苷对转化生长因子- β 诱导人胚肺成纤维细胞增殖分化及胶原蛋白合成的影响[J]. 中国药业, 2019, 28(2): 14-17.
- [19] 师晓栋, 于丽佳, 张岩松, 等. 间充质干细胞源外泌体干预矽肺纤维化的研究进展[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, 38(4): 311-313.

(收稿日期: 2021-09-16 修回日期: 2022-04-11)